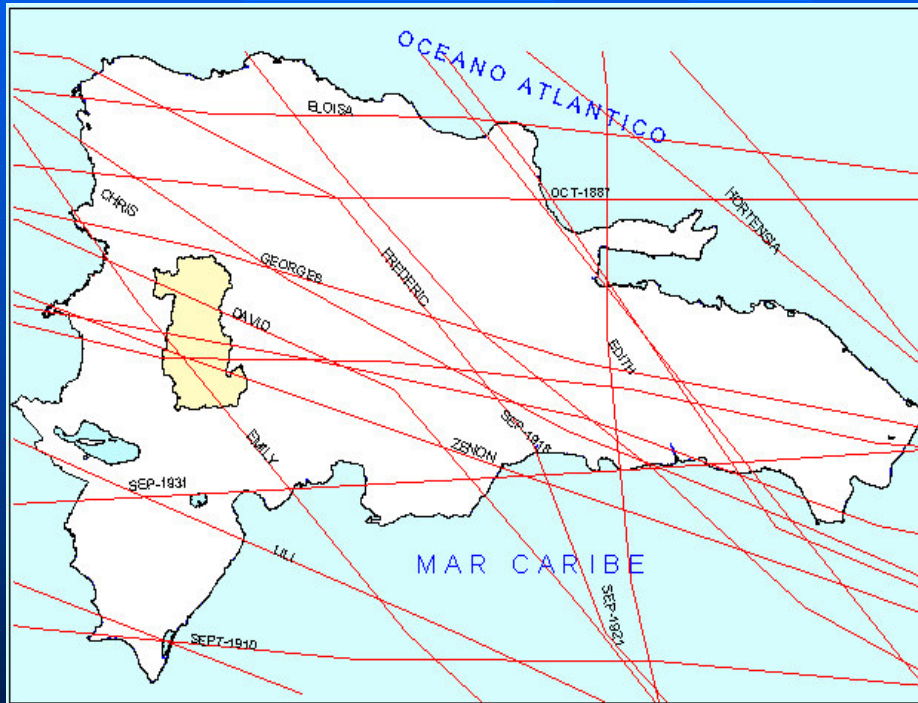


**Desarrollo de Una Metodología Para la  
Identificación de Amenazas y Riesgos a  
Inundaciones y Deslizamientos en la  
Cuenca del Río San Juan**

República Dominicana

Diciembre, 2003

# Antecedentes



- Huracán Georges (22 y 23 de sept., 1998), afectó el 70 % (48, 442 km<sup>2</sup>) del territorio nacional.
- Fuertes ráfagas de viento, lluvias torrenciales.
- Extensas inundaciones y deslizamientos de lodo.
- Población severamente afectada: 9,800.
- Población medianamente afectada: 238,621.
- 1,000 a 3,000 viviendas destruidas.

# Introducción

- En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes metodologías para la zonificación de las amenazas y riesgos ante inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río San Juan.
- Programas ArcView, ILWIS y PCRaster de los SIG, dentro del programa de Acción Regional para Centro América (RAPCA), UNESCO, el ITC, Holanda y el CEPREDENAC, Panamá.

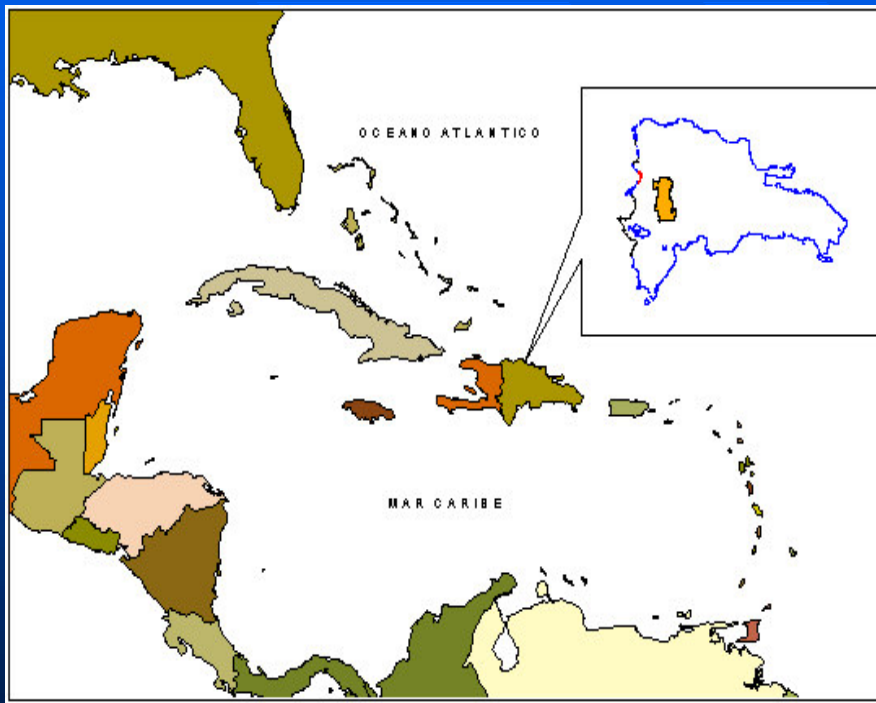
# Objetivos Generales

- Identificar las áreas potenciales a ser afectadas por inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río San Juan y los elementos que se encuentran bajo riesgo en las comunidades de Sabaneta y San Juan.
- Contribuir al ordenamiento en el uso del suelo que evite los asentamientos en cauces y zonas con pendientes de alto riesgo.

# Objetivos Específicos

- Proveer una herramienta que posibilite la toma de decisiones para la gestión de riesgo en las comunidades de San Juan de la Maguana y Sabaneta.
- Identificar áreas prioritarias para planes de manejo.
- Intentar involucrar a las comunidades que integran el área de estudio en el proceso de identificación de amenazas y de los elementos bajo riesgo.

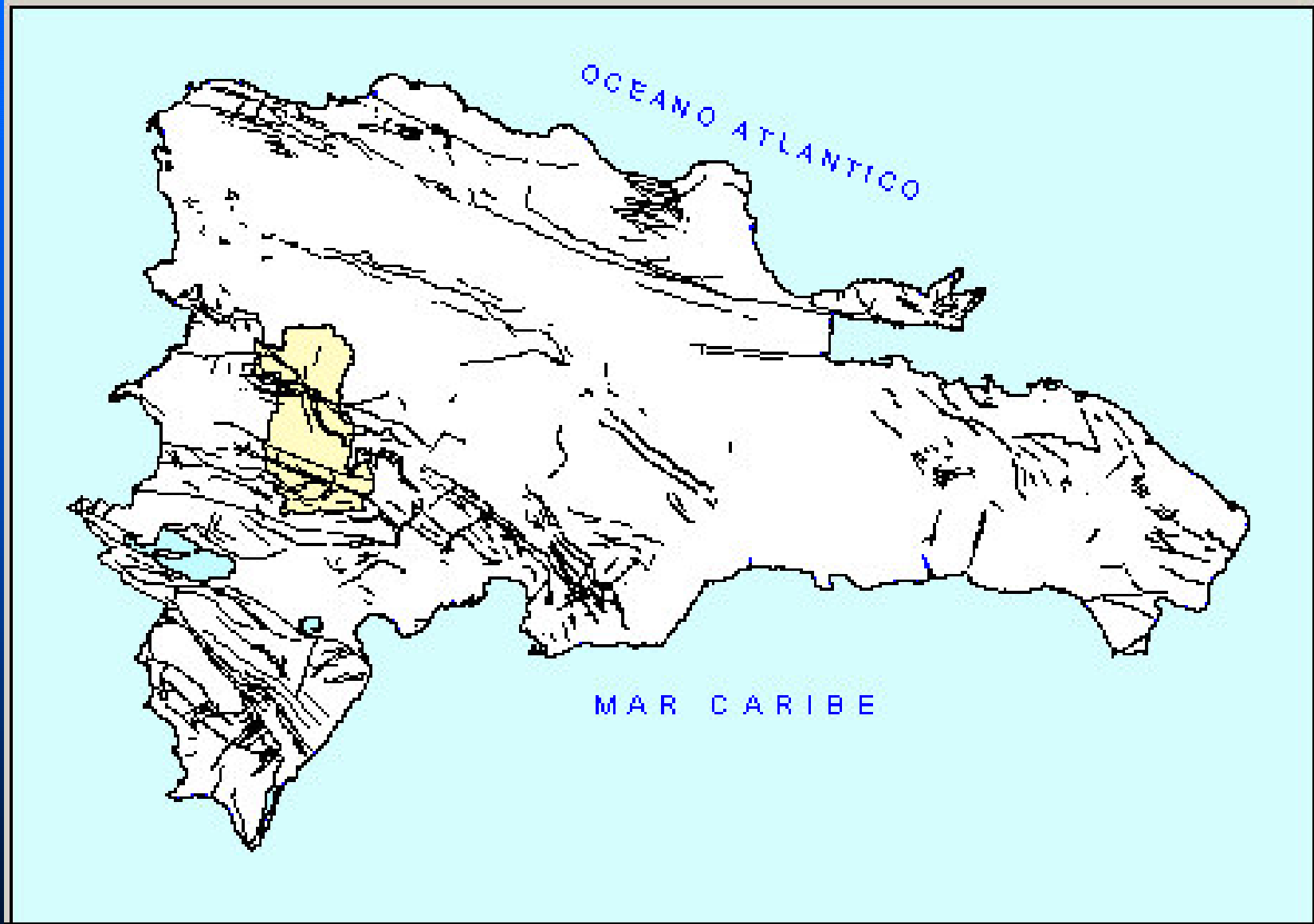
# Generalidades del Area de Estudio



- Superficie de 1,600 km<sup>2</sup>.
- Localizada en la región suroeste del país.
- Una de las zonas de menor desarrollo.
- Más del 75% de los hogares viven en la pobreza (ONAPLAN, 1998).
- Zona de ruta de huracanes.
- Población total de 268,149 habitantes (censo de 1998).

# Geología y Geomorfología

- Rocas volcánicas (tobas), rocas sedimentarias indiferenciadas, calizas, además de conglomerados, areniscas y esquistos arcillosos e incluye depósitos de terrazas y aluviones.
- Se localiza una de las 12 grandes fallas regionales: Falla de San Juan; indicativo del alto tectonismo en la zona.
- Unidades geomorfológicas son: vertiente sur de la Cordillera Central, parte de la Sierra de Neiba y el Valle de San Juan (incluye llanos aluviales, terrazas bajas y altas, abanicos aluviales y colinas bajas).



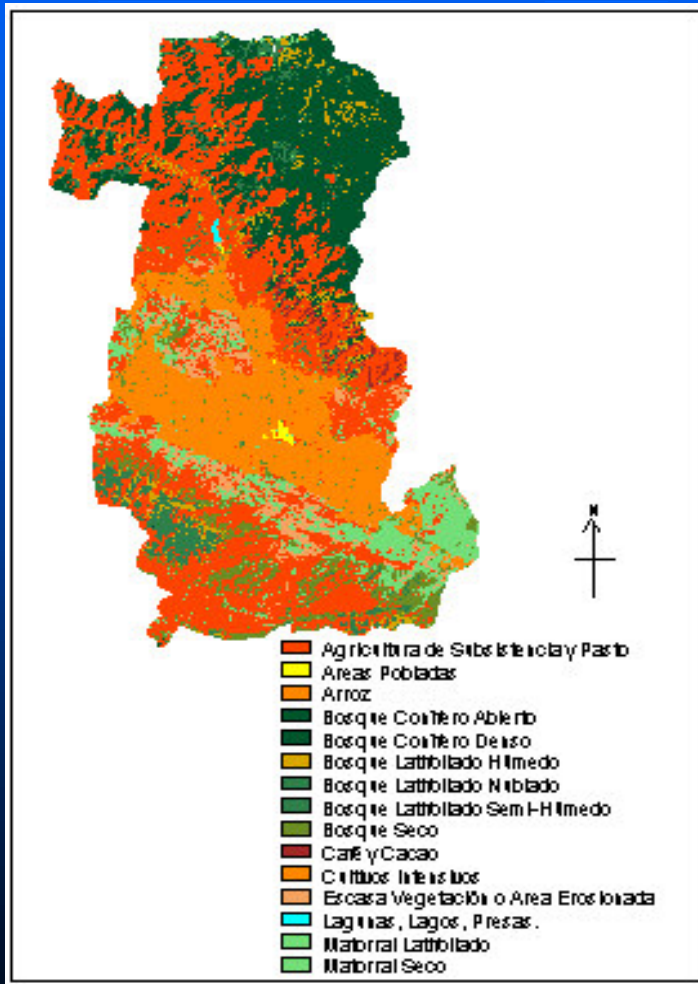
# Clima y Suelos

- Precipitaciones desde 980 - > 2000 mm/año, distribuídas de forma irregular.
- Zonas ecológicas: bs-S, bh-S, bh-MB y bmh-MB (Holdridge).
- Predominan suelos de terrenos escabrosos no calizos y calizos, aptos solo para cobertura boscosa o para pastizales.
- En la parte media y baja están localizados algunos de los suelos más productivos del territorio nacional.

# Capacidad Productiva y Pendientes

- Suelos clase VII, con relieves de colinas altas y bajas y pendientes de 15 - 30 % y zonas con relieve montañoso con pendientes que pueden superar el 60 %.
- En el valle, suelos clase II (alto potencial agrícola), IV y V, con pendientes desde 3 hasta 15 %.

# Uso y cobertura



- Parte alta: bosques (Parque José del Carmen Ramírez ) y agricultura de subsistencia (> extensión).
- Parte media y baja: agricultura intensiva (uso adecuado) de arroz, frijol rojo, plátanos, etc.

# Análisis de Amenazas a Deslizamientos

- Concepto:

Movimiento de masas de suelo o rocas que se desplazan en dirección de la pendiente a consecuencias, en la mayoría de los casos, de un aumento en la presión de los poros en el talud, lo que debilita la resistencia del material del suelo (Th. W. J. Van Asch).

# Factores que Inciden

- Condiciones previas del material y el terreno.
- Resistencia del material a los movimientos (geología).
- Fuerza de gravedad, la presión hidrostática.
- Las lluvias de alta intensidad.
- Los terremotos y la intervención humana.
- El tipo de cobertura y la pendiente del terreno (Cordero, 2000).

# Otros Factores que Inciden

(RAPCA-CBNDR, 2000)

- Atributos Geomorfológicos del terreno.
- Geometría del deslizamiento.
- Tipos de movimientos.
- Velocidad del movimiento.

# Metodología

- Se utilizaron dos métodos:
  - Directo o Determinístico.
  - Indirecto.
- Método Determinístico:
  - Modelo combinado Hidrológico-Estabilidad de Taludes (Van Asch, 2000), que a través de la creación de diferentes escenarios realiza un análisis físico-estadístico, calculando el Factor de Seguridad (Amenaza Absoluta) de la pendiente.
  - Es generado a través del programa PCRaster, versión 2.0 (Universidad de Utrech, Holanda).

# Metodología

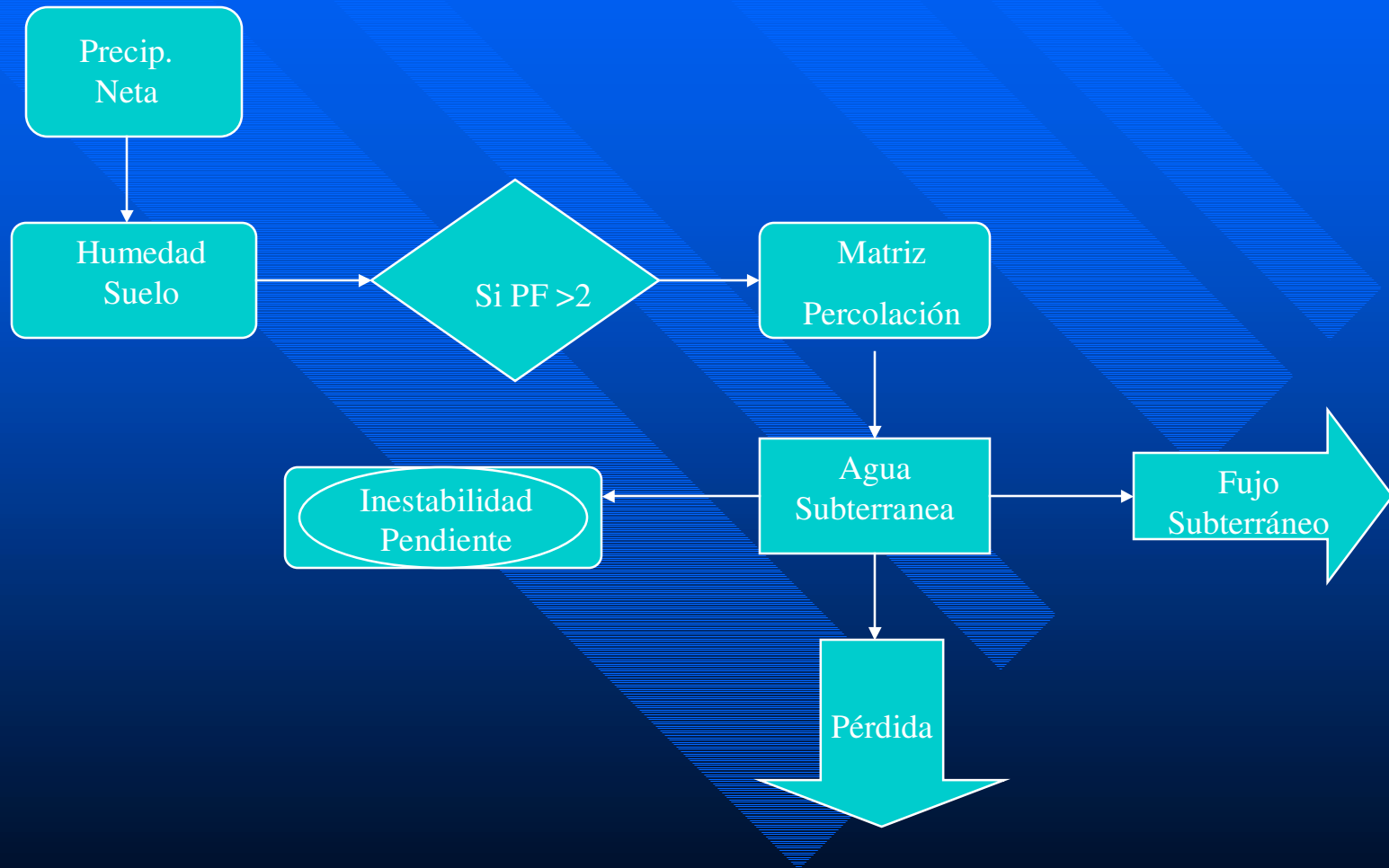
## ■ Indirecto:

- Realiza análisis de la interrelación entre las características y condiciones en que se encuentra el terreno y la potencialidad de ocurrencia de los derrumbes.
- Los datos fuente para el análisis casi todos provienen de los programas ArcView y Erdas Imagen.
- Para la integración y el análisis de los datos se utilizó el programa ILWIS, 3.1 para Windows (ITC, Holanda).

# Variables que Utiliza el Modelo Directo

- **Precipitación**
- **Evapotranspiración**
- **Agua almacenada por interceptación.**
- **Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM)**
- **Pendiente**
- **Mapa de dirección del flujo subterráneo**
- **Espesor de la capa del suelo**
- **Porosidad**
- **Capacidad de campo (PF>2) o humedad inicial del suelo**
- **Coeficiente de conductividad hidráulica**
- **Angulo de fricción interna del suelo**
- **Cohesión**
- **Pérdida de aguas subterráneas en las rocas**
- **Mapa de uso y cobertura actual**
- **Mapa de geología**

# Flujograma Método Directo



# Escenarios de Precipitación por Recurrencia y Tipo de Cobertura (Método Directo)

Para el desarrollo de los diferentes escenarios se tomaron como punto de partida diferentes valores de precipitación diaria en cm. (factor desencadenante), bajo condiciones climáticas normales, para intervalos de 2, 5, 10, 20 y 50 años; se calculó la estabilidad que representa la pendiente con tres diferentes tipos de cobertura: la actual (mixed en el modelo), boscosa (forest) y pastos (grass).

Para cada tipo de cobertura se ubicaron tres áreas de muestreos, distribuidas en una zona de fuerte pendiente, en una de pendiente media y el otro punto en una zona plana dentro de la cuenca

# Creación de los Escenarios de Precipitación por Recurrencia y Tipo de Cobertura

Al finalizar la modelación:

Mapas de probabilidad de fallas (factor de seguridad de 0 - 1) y de áreas de inestabilidad.

Los gráficos que muestran las alturas alcanzadas por el agua subterránea durante la simulación.

Porcentajes acumulados de las áreas que se tornan inestables (probabilidad de falla  $> 0.5$ ) para cada tipo de cobertura durante la simulación.

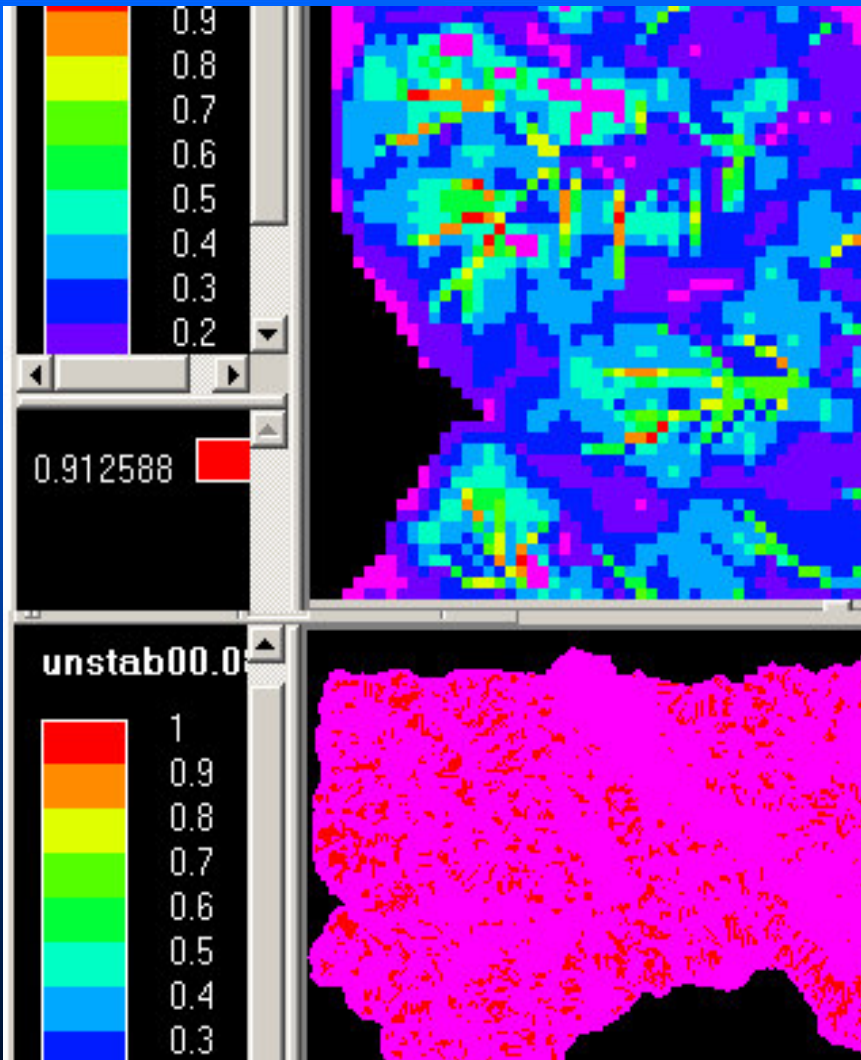
# Mapas Utilizados con el Método Indirecto

- Modelo Digital del Terreno (DEM)
- Geología
- Suelos
- Conflictos de uso de la tierra
- Pendientes
- Zonas de vida (zonas ecológicas )
- Los datos fuente para el análisis fueron elaborados con los programas ArcView y Erdas Imagen

# Pasos Realizados para Obtención del Mapa

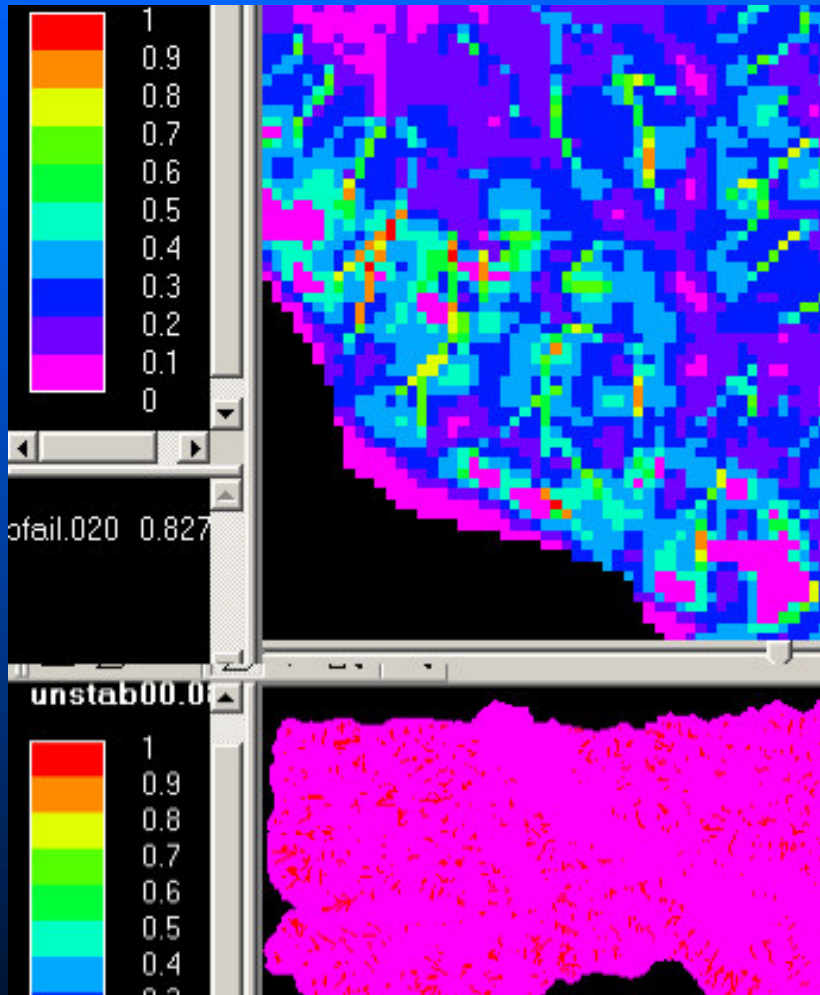
- Asignación de pesos a los mapas temáticos
- Transformación de mapa temático a mapa de pesos a través de un proceso de renumeración.
- Combinación de todos los mapas de pesos mediante un proceso de adición para generar el mapa de amenazas a deslizamientos.
- Reclasificación del mapa final de deslizamientos

# Resultados



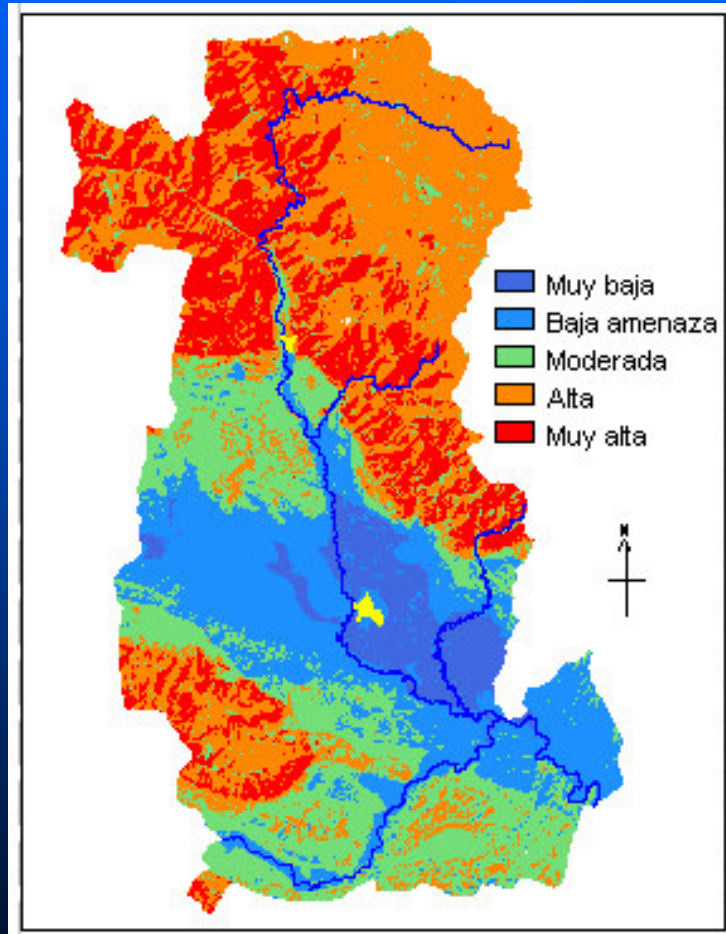
- Bajo pasto hay menor interceptación de la vegetación; el agua infiltra rápidamente, la conductividad hidráulica es más baja que con bosque, por lo que un mayor porcentaje de áreas con pasto se convierten en inestables (14 %) con menos precipitación que bajo cobertura de bosque (6.8 %).
- Deslizamientos inactivos y activos: materiales de origen volcánico y sedimentario, muy alterados por intemperización, lo que les da muy poca cohesión.

# Resultados



- Con cobertura de bosque habrá más lluvia que será interceptada por la vegetación y que no infiltrará en el suelo, lo que favorecerá la estabilidad de la pendiente.
- Esto tiene un efecto en la estabilidad de la pendiente; especialmente para días con poca cantidad de lluvia.
- El agua subterránea no se eleva rápidamente, por lo tanto el porcentaje de áreas inestables será menor (6.8 %) en comparación con el escenario original de uso y cobertura (8.8 %).

# Resultados Método Indirecto

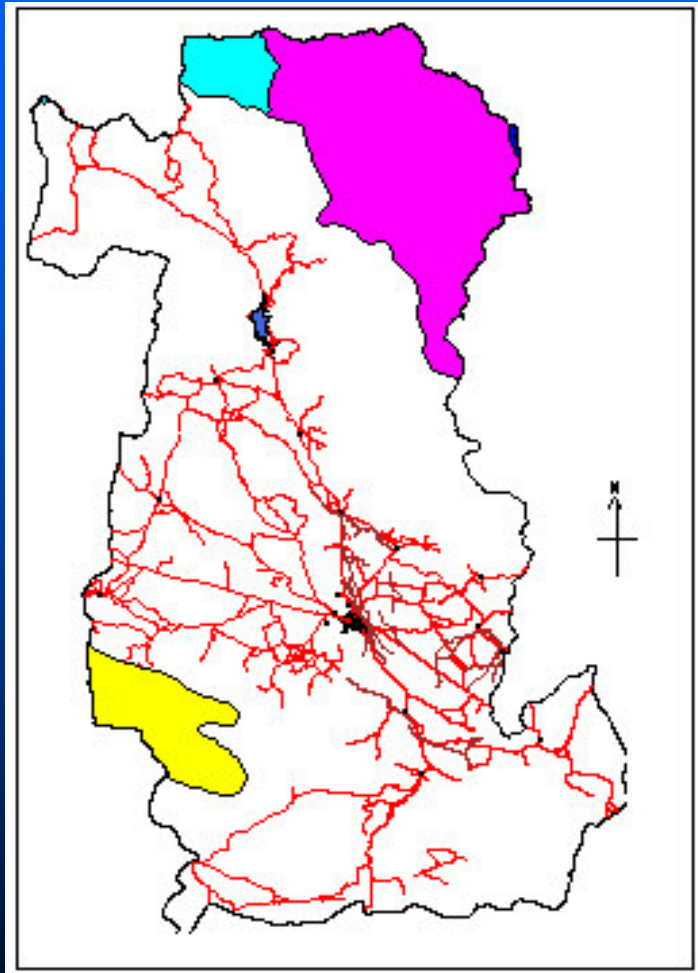


- 798 Km<sup>2</sup> presentan una alta amenaza de deslizamiento.
- 362 Km<sup>2</sup> presentan amenaza moderada; localizadas en zonas de menor degradación.
- 430 Km<sup>2</sup> amenaza baja, localizadas en la parte baja, en toda la zona del Valle de San Juan .
- dentro de la ciudad de San Juan existen zonas puntuales, susceptibles a sufrir derrumbes.

# Deslizamientos en Sector Mesopotamia (San Juan de la Maguana)



# Vulnerabilidad a Deslizamientos



- Evaluación individual de elementos expuestos.
- Ciudades principales, vías de comunicación, infraestructuras de salud, infraestructuras de riego y presas, áreas protegidas y población.
- Asignación de valores de pesos (1-10).
- Integración en un mapa final.

# Resultados

- Las zonas de mayor vulnerabilidad están ubicadas aguas arriba de la presa de Sabaneta y áreas circundantes, con fuertes pendientes y suelos muy degradados.
- La comunidad con mayor vulnerabilidad directa es Sabaneta, precisamente por encontrarse aguas debajo de la presa.
- Algunos sectores de San Juan son vulnerables, sobre todo los marginales, ubicados en los márgenes del río San Juan (sectores Mesopotamia, El Rosario y Guachupita); los desprendimientos que suceden aguas arriba serán arrastrados con gran fuerza por todo el curso del río generando graves daños como sucedió en el pasado reciente.

# Análisis de Riesgo a Deslizamientos

- Riesgo: grado de pérdidas esperada ante la ocurrencia de un fuerte impacto de origen natural o inducido por el hombre.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Costo} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Período de Recurrencia}$$

# Pasos para el Análisis y Resultados

- Se creó una tabla bidimensional que combina los mapas de amenaza y vulnerabilidad.
- La resultante del proceso es un mapa de riesgo (cualitativo) que refleja la relación entre las dos variables.
- Clasificación en alto, medio y bajo riesgo.
- Tabulación cruzada entre el mapa de riesgo generado y el mapa de comunidades y determinar en términos porcentuales el tipo de riesgo a que está expuesto cada comunidad.

## Resultados

- Sabaneta es la que presenta mayor peligro.
- 85 % del área se encuentra bajo un riesgo alto.
- 15 % del área se encuentra bajo riesgo moderado.
- La densidad poblacional es de 375 / Km<sup>2</sup>.
- San Juan está entre moderado y bajo riesgo.

# Amenazas a Inundaciones

Metodología:

- Aplicación de un Modelo Hidrológico con el Programa PCRaster.
- Aplicación un Modelo para un Evento Ciclónico (adaptado) con el Programa ILWIS.

# Metodología

## Pasos Aplicación Modelo Hidrológico

- Importación desde ILWIS para PCRaster en formato ASCII.
- Identificación de un punto aguas debajo de la ciudad de San Juan.
- Se definió la cuenca aguas arriba de la ciudad.
- Generación mapa de distancias a partir del mapa de ríos.
- Definición para cada tiempo de retorno la pendiente de la superficie del plano de inundación y la profundidad en el punto de salida de la cuenca.
- Se definió un mapa con la superficie del agua ( $\text{Alt. Inund.} + \text{Alt.snm}$ ).
- Se sumó la superficie del agua con el valor de la pendiente del agua y se, la distancia desde el punto directamente debajo de la ciudad y el DEM.
- Se restó la superficie del agua con el DEM y se obtuvo la altura de inundación en todos los lugares inundados.

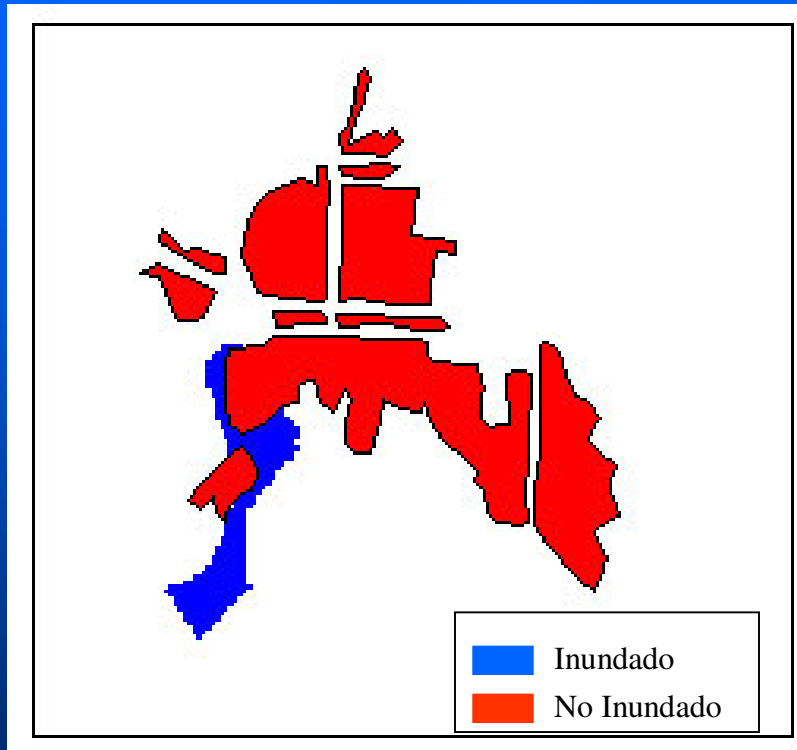
# Metodología

## Pasos Aplicación Modelo para Ciclones

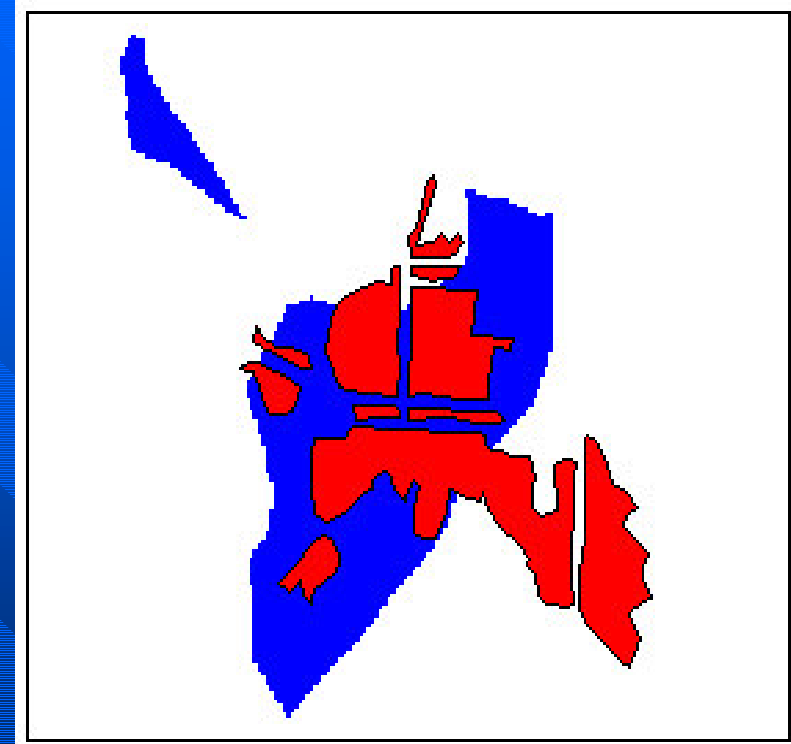
Datos y Pasos utilizados para el análisis:

- Registros históricos de fenómenos climáticos que han provocado inundaciones.
- Modelo de Elevación Digital (DEM).
- Mapa de distancias a partir de la red principal de drenaje de la zona.
- Cálculo del coeficiente de rugosidad (SDC) para cada altura de inundación por período de recurrencia.
- Cálculo de alturas promedio de inundación para cada período de recurrencia a partir del DEM y los SDC.
- Aplicación del modelo (Script Surge, ILWIS).

# Resultados

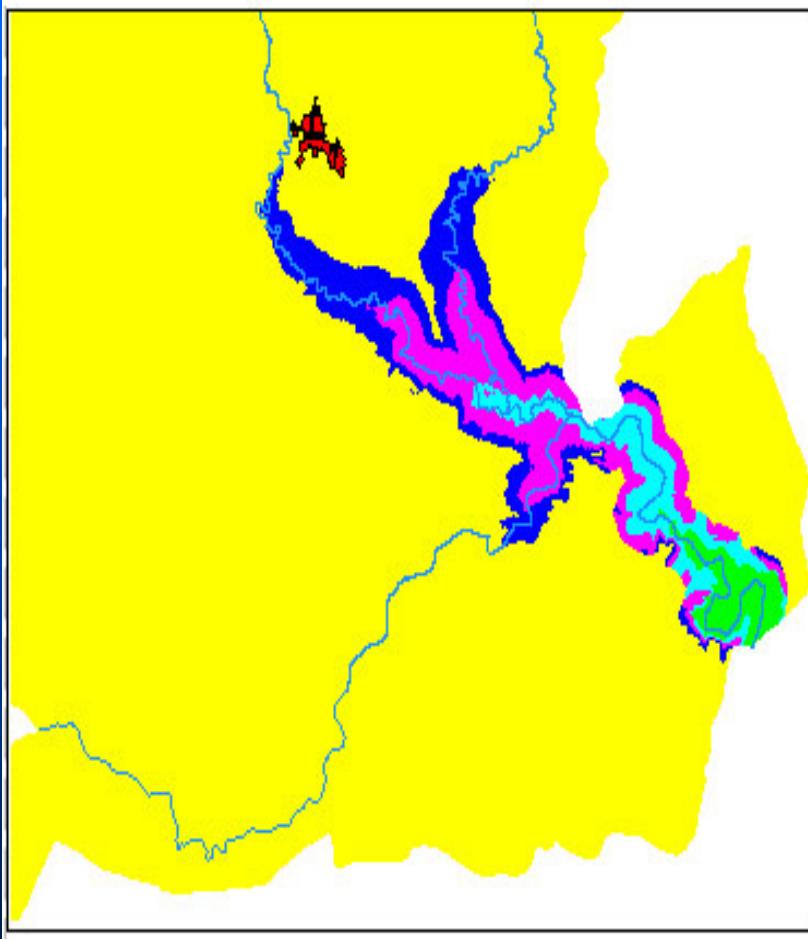


Cada 2 años se puede esperar que el río inunde parte de la ciudad (0.02 Km<sup>2</sup> ).



Cada 20 años se puede esperar que una considerable área de la ciudad sea afectada (2.05 Km<sup>2</sup>).

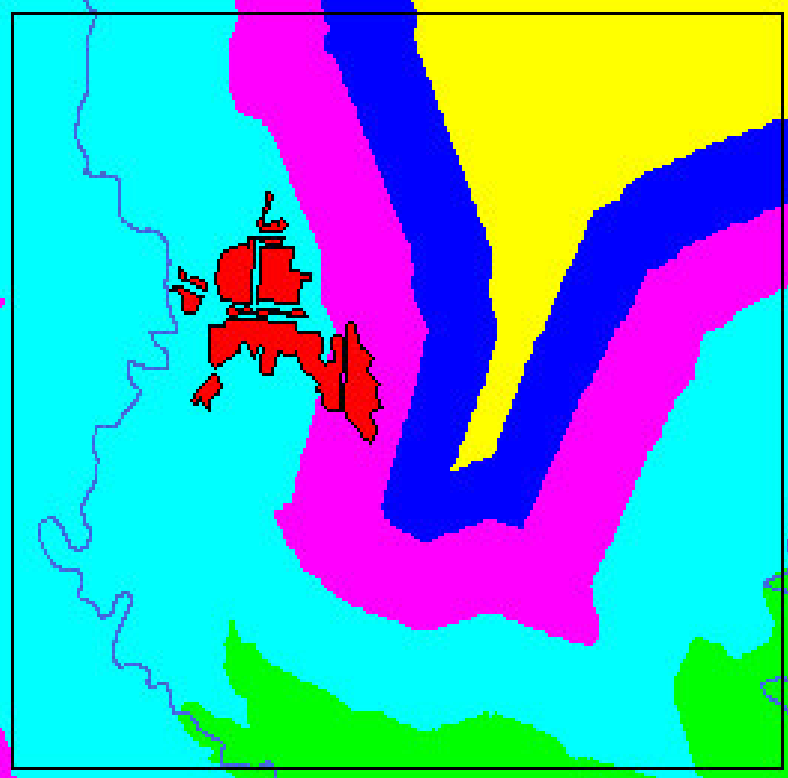
# Resultados



Áreas Susceptibles a Inundarse para  
2 Años con el Modelo Ciclónico.

- En un período de 2 años se espera que la ciudad de San Juan no sea afectada por las aguas.
- A partir de 5 años ya existe amenaza de inundación; 0.7 Km. con amenaza moderada y 0.8 Km con baja amenaza.
- 10 años 0.8 Km con alta amenaza 0.9 Km con amenaza moderada y 0.3 Km con baja amenaza.

# Resultados



- Para 20 años se espera que aprox. 1.5 Km estén bajo una alta amenaza y 0.7 Km de la ciudad presentarían amenaza moderada.

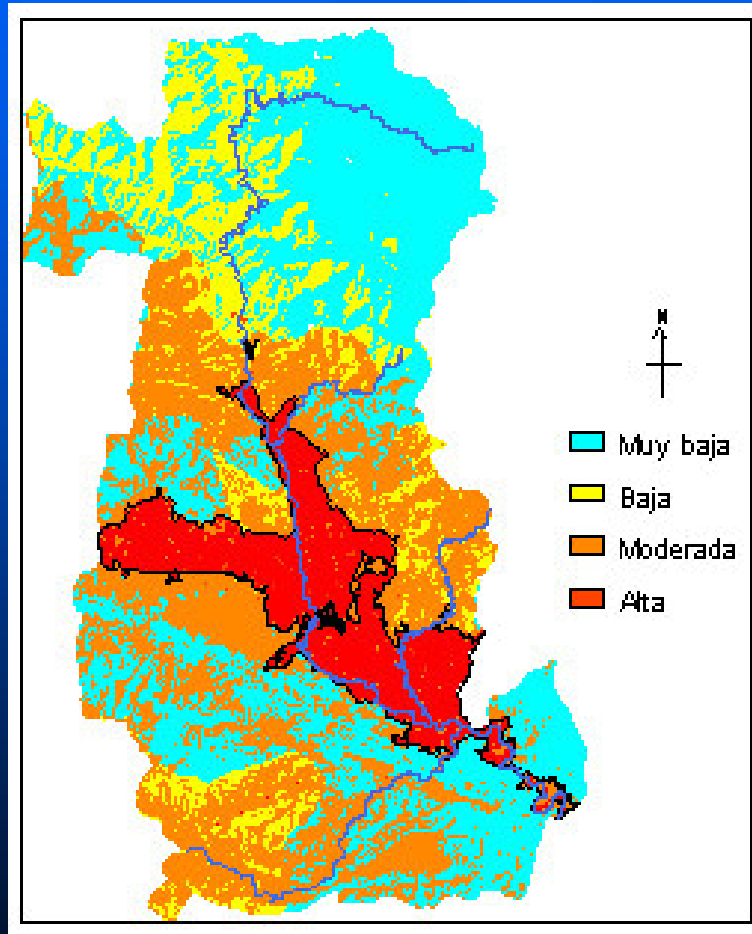
# Análisis de Vulnerabilidad a Inundación Súbita.

- Se utilizaron los datos recopilados (alturas que alcanzaron las aguas, superficie total inundada) de los máximos eventos ocurridos durante los últimos 19 años.
- Informaciones de los niveles que alcanzaron las aguas, suministradas por habitantes de las comunidades más afectadas.
- Datos de la población afectada presentados en algunos de los trabajos realizados posterior al paso del huracán Georges.

# Metodología

- Se calculó las alturas promedio de inundación en el punto final del área inundada (DEM, los mapas de inundación generados y el mapa de distancia).
- Se calculó el Coeficiente de Vulnerabilidad ( $V_c$ ) para cada altura de inundación.
- Se creó un archivo de aplicación o Script (conjunto de operaciones ejecutadas internamente a través de ILWIS) para generar los mapas de vulnerabilidad.
- Se estimó el número total de pérdidas esperadas para la comunidad de San Juan (a partir mapas de vulnerabilidad creados y el mapa de densidad poblacional).

# Resultados



- La zona más vulnerable es la que comprende toda la planicie de inundación.
- canales de riego, las tomas de acueductos, estaciones de bombeo, escuelas, puentes y vías de comunicación.
- Otro elemento muy importante lo constituye la considerable superficie dedicada al cultivo de arroz.

# Análisis del Riesgo a una Inundación Súbita para una Frecuencia de 20 Años

- En promedio cada 20 años se registran caudales de inundación capaces de generar fuertes inundaciones.
- Tomando en cuenta esto y la alta concentración de habitantes en zona se decidió calcular el número de personas bajo riesgo para una frecuencia de 20 años.
- Se multiplicó el mapa de amenazas generado con el modelo por la vulnerabilidad para 20 años por la densidad poblacional, a través del programa ILWIS.
- Los resultados dicen que un evento de esta naturaleza en esta comunidad podría generar pérdidas de vida de hasta 12,000 personas.
- Asentamientos de mayor riesgo son los ubicados el curso inferior o lecho del río (Mesopotamia, Guachupita).

# Conclusiones

- En la cuenca predominan las zonas de relieve de montaña con topografía muy accidentada, solo adecuado para cobertura forestal o cultivos como el café típico y cacao.
- La sobreexplotación de estos suelos representa un alto peligro para la región por la alta susceptibilidad a erosionarse en gran parte de ellos.
- El análisis de amenazas a deslizamientos reflejó que en general en la porción noroccidental de las cuencas alta, y media, en las estribaciones de la Cordillera Central, en el área que bordea la presa de Sabaneta y hacia el extremo suroccidental en lo que es la Sierra de Neiba, existe una alta amenaza a deslizamientos.

# Conclusiones

- El análisis de amenazas a inundaciones reveló que cada 20 años se espera que una considerable superficie de la planicie de inundación sea afectada por las aguas.
- Los resultados de las metodologías utilizadas, indican que unos 2 km<sup>2</sup> quedarían anegados por el agua, con el consecuente daño a infraestructuras de servicios, producción y a los habitantes más desfavorecidos.
- El área dedicada a la producción de cultivos básicos para la alimentación se encuentran dentro de la zona de alta amenaza; una fuerte avenida provocaría desabastecimiento a nivel nacional y cuantiosas pérdidas económicas.

# Conclusiones

- El cambio en el uso del suelo ha generado una alta degradación en la parte alta provocando un fuerte arrastre de materiales, sedimentación en la presa afectando su vida útil y deposición de materiales en toda la zona cultivable.
- En el país se han realizado trabajos relacionados con la tema de desastres, pero todos están a un nivel muy general.
- La escasez de datos precisos no permitió la adecuada aplicación de algunas de las metodologías por lo que los resultados obtenidos solo presentan un panorama general de lo que podría acontecer.

# Recomendaciones

- Realización de entrenamientos a nivel institucional y comunitario a fin de crear capacidades que posibiliten la identificación de amenazas y riesgos para así poder tomar acciones que disminuyan o eviten desastres futuros.
- Realizar este tipo de trabajos de forma interdisciplinaria pues estos análisis requieren de una visión integral ya que son muchos los factores que inciden en la generación de los desastres.
- Se requiere de una constante campaña de prevención a nivel de las comunidades para crear conciencia entre los habitantes y empujar a la búsqueda de acciones o alternativas propias que aminoren o eliminen los efectos de un evento que pudiera provocar un desastre.

# Recomendaciones

- El río San Juan amerita de la realización de obras de mejoramiento de cauce a fin de mitigar los efectos de inundaciones futuras.
- Las autoridades deberán contemplar la reubicación de la comunidad de Sabaneta , Mesopotamia, El Rosario y Guachupita para evitar nuevas pérdidas de vida en el futuro.
- Estos resultados no son concluyentes y se ameritan de la realización de nuevas evaluaciones.